

BETÓNOVÉ PRIEHRADY NA SLOVENSKU: STATICKO-KONŠTRUKČNÉ, URBANISTICKO-ARCHITEKTONICKÉ A EKOLOGICKÉ ZAUJÍMAVOSTI CONCRETE DAMS IN SLOVAKIA: STRUCTURAL, URBANISTIC, ARCHITECTURAL AND ECOLOGICAL BACKGROUND

MICHAL LUKÁČ, JANA POHANIČOVÁ

Betón v podmienkach priehradného staviteľstva na Slovensku nepatrí k dominantným stavebným materiálom. Napriek tomu vyskytujú sa tu gravitačné betónové priehrady z prostého (nearmovaného) betónu a doskové členené železobetónové (tenkostenné) priehrady.

The concrete does not belong to dominant construction materials in the specific conditions of Slovak dam construction. Despite this fact, one can find here concrete gravity dams build from plain concrete, as well as Ambursen type dams (thin-walled concrete slabs).

Najviac zastúpeným materiálom v priehradnom staviteľstve na Slovensku je miestny – zemina a kameň. V súvislosti s tým sa najčastejšie vyskytujú zemné a kamenité – sypané priehrady. Je to vyvolané predovšetkým takými prírodnými determinantami, ktoré sú rozhodujúce pre voľbu typu priehrady, akými sú komplikované inžiniersko-geologické pomery prevažnej väčšiny priehradných lokalít u nás.

Z hľadiska významu (miestny, regionálny), veku a výšky rozdeľujeme vo všeobecnosti priehrady na Slovensku do troch skupín:

- priehrady historické (v počte ~50), tvoriace Bansko-štiavnickú vodohospodársku sústavu (zapísané na zoznam

Tab. 1 Základné parametre betónových priehrad

Tab. 1 Basic parameters of concrete dams

Svetového kultúrneho dedičstva UNESCO),

- priehrady MVN (v počte > 200), nízke priehrady, tvoriace nádrže lokálneho významu,
- priehrady v registri Medzinárodnej priehradnej komisie ICOLD (v počte 50), spravidla s regionálnym a nadregionálnym významom.

Zatiaľ čo prvé dve skupiny – s výnimkou priehrad Motyčky, Dolný Jelenec – tvoria výlučne zemné priehrady, tretia (najvýznamnejšia z nich) je zastúpená aj betónovými gravitačnými priehradami (v počte 5), resp. haťovými, či zmiešanými (v počte 9) – zemnými a betónovými. Napriek malej početnosti sú niektoré betónové priehrady zaujímavé nielen z konštrukčného, ako aj architektonicko-urbanistického, či ekologicko-spoľočenského hľadiska.

TYPOLÓGIA BETÓNOVÝCH PRIEHRAD

Hoci škála betónových priehrad je vo všeobecnosti širšia, v podmienkach slovenských priehradných lokalít sú zastúpené v zásade 3 typologické skupiny:

- priehrady gravitačné (údolné, haťové),
- priehrady členené, doskové (tiež označované ako typu Ambursen),
- zmiešané, zemno-betónové.

Typickým predstaviteľom jednoduchej masívnej gravitačnej priehrady sú priehrady energetickej vysokotlakej sústavy Palcmanová Maša–Vlčia Dolina. V Tabuľke 1 uvádzame základné parametre gravitačných betónových a členených priehrad.

Z priehrad, uvedených v tabuľke, sú tri typicky masívne-gravitačné priehrady (P.

Maša, Vlčia Dolina a Ružín II) so štíhlostným pomerom b/h 0,75 až 0,8.

Priehrada Palcmanová Maša na Hnilci (Obr. 1) vytvára akumuláciu nádrže vysokotlakej VE vo Vlčej Doline (Obr. 2) s vyrovnávacou nádržou. VE má inštalované dve Francisove – vysokotlakové turbíny (H = 243 až 277 m). Privádzač tvorí najprv tlaková štôľňa s φ 2,12 ($9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), potom oceľové potrubie. Ročná výroba VE je 23 GWh pri inštalovanom výkone 22,75 MW. Z hľadiska kvality i obsahu cementu (na m^3 hotového betónu) je možné rozlíšiť dva druhy priehradového betónu, a to: obalový (značky B 300 kg cementu/ m^3 betónu) a jadrový (značky B 225 kg cementu/ m^3 betónu). Zhutňovanie oboch sa dialo ponornými-hruškovými, či príložnými vibrátormi. Priehrada Palcmanová Maša dotvára, spolu s vodnou nádržou, malebnosť doliny Slovenského raja.

Podobne jednoduchý, ako profil týchto priehrad, je profil poslednej z doteraz realizovaných gravitačných priehrad, Ružín II na Hornáde, ktorý má však štíhlejší, dvakrát zalomený vzdušný líc.

Vysvetlivky k tabuľke:

V_c, V_z – celkový a zásobný objem nádrží [10^6 m^3], účel: E - hydroenergetika, P - priemysel, Z - závlaha, Q_{\min} - zaistenie min. prietokov v toku; H_{\max}/H_0 [m] - max. výška priehrady a výška vzdutia; L [m] - dĺžka v korune; K [10^3 m^3] kubatúra priehradového betónu; Geológia: F - flyš (pieskovec, bridlice, ílovec), D - dolomity, V - vápence, G - granity, Db - diabázy, P - paleogén, N - neogén, A - alúvium

Gravitačné betónové priehrady											
Č.	Názov	Tok	Rok dokončenia	Nádrž			Priehrada			Geológia	
				V_c	V_z	Účel	H_{\max}/H_0	L	L/H		K
1	Orava – ústie	Orava	1953	345	298	E, P, Z, O	41 / 27,4	291	9,5	270	F
2	Palcmanová Maša	Hnilec	1956	11,1	10,3	E, Q_{\min}	31 / 21,5	209	9,5	62	Db
3	Vlčia Dolina	potok	1956	0,17	0,16	E, Q_{\min}	25 / 16	137	8,1	26	G
4	Nosice	Váh	1958	36	24	E, Q_{\min}	33 / 15	472	23,8	347	F
5	Ružín II	Hornád	1972	3,7	2,5	E, Q_{\min}	27 / 15	140	9,5	53	G
Doskové (typu Ambursen) členené priehrady											
6	Motyčky	Starohorský potok	1925	0,06	0,04	E, Q_{\min}	7,5 / 7	170	54,2	0,25	V, D
7	Dolný Jelenec	Jelenecký potok	1925	0,03	0,03	E, Q_{\min}	11,7 / 5,8	74	24,3	0,15	V, D



Obr. 1 Pohľad na priehradu a akumuláciu nádrž Palcmanská Maša
Fig. 1 View of the dam and detention reservoir of Palcmanská Maša

PRIEHRADA ORAVA

Originálne riešená priehrada (Obr. 3) bola vybudovaná v rokoch 1941 až 1953 v morfológicky výhodnom priehradnom profile, tesne pod sútokom Bielej a Čiernej Oravy.

Jej príprava má bohatú históriu, siahajúcu do prvej polovice 19. storočia. V rokoch 1830 až 1933 bolo vypracovaných 9 štúdií rôznych konštrukčných typov s výškou priehrady 16 až 54 m pri objeme nádrže 86 až 850 mil. m³, a to od murovanej po betónovú gravitačnú (masívnu, pilierovú). Spoločným znakom týchto historických štúdií bolo, že si všimli predovšetkým výhodnej morfológie priehradného profilu a podceňovali komplikované inžiniersko-geologické pomery. Až podrobný prieskum, od začiatku 40. rokov, ukázal, že skalné podložie je tvorené nevhodnými flyšoidnými horninami, aké predstavuje paleogén vonkajších Karpát. Doplňujúci prieskum ukázal, že v profile sa nachádzajú lavice pieskocov, mocnosti 0,3 až 3 m, a ílovce od niekoľko cm do niekoľkých dm. V údolnej nive boli zistené lavice pieskovca s polohami bridlic (s nízkym trením). Nepriaznivý je tiež fakt, že toto vrstevnaté flyšové podložie má aj nevhodný sklon vrstiev (po vode), čo zhoršuje stabilitu priehrady v základovej škáre. Pre elimináciu týchto nepriaznivých skutočností, ktoré sú navyše zvýšené tromi výraznými zlomami, i s prihliadnutím na zníženie sadania poloskalného podložja (najmä ílovcov a bridlic), bol realizovaný návrh gravitačnej-vylahčenej priehrady s výraznými sklonmi oboch lícov. Ich účinná základová škára (z hľadiska stability voči ušmyknutiu) je zväčšená horizontál-

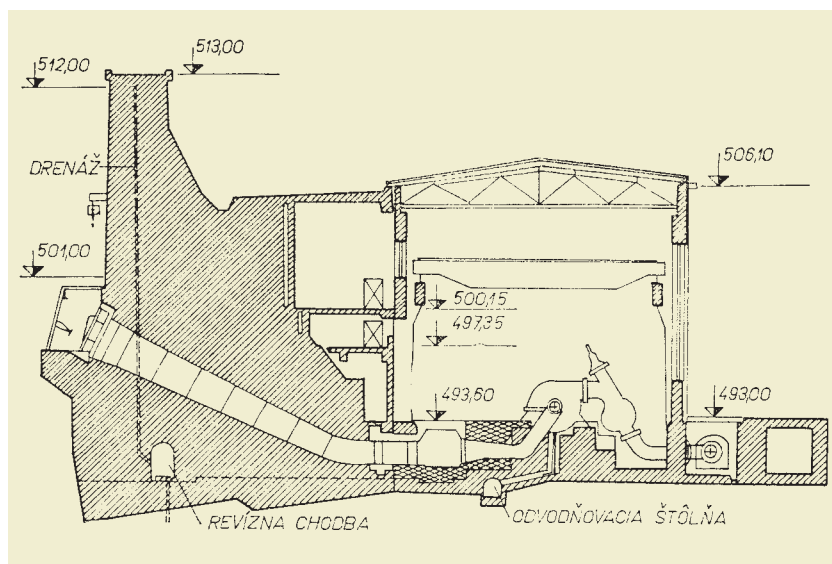
ným predbločkom, na ktorý pôsobí plnou hodnotou zložka vodného tlaku, ktorý pôsobí v prospech tiaže priehrady. Tento efekt by nebol taký účinný, keby injekčná clona, redukujúca nepriaznivý účinok vztlaku v základovej škáre, bola realizovaná z úrovne návodnej päty vylahčeného bloku. Preto bola tesniaca injekčná clona predsunutá na návodnú stranu horizontálneho predbločka. Tým sa výrazne znížil účinok vztlaku na celú škáru, čím sa zvýšila stabilita voči ušmyknutiu a znížila napätosť v základovej škáre. Takéto zabezpečenie stability podložja je originálne nielen v podmienkach Slovenska, resp. Československa, ale i v rámci priehradného staviteľstva Európy.

Dva funkčné priepadové bloky so spodnými výpustami, zaujímavovo riešené po stránke konštrukčnej aj architektonickej, sú situované v údolnej nive. Priepady sú

hradené segmentami a priepadová plocha vo tvare „lyžiarskeho mostíka“ je podoprená v dolnej časti strojovňou uzáveru spodného výpustu (segmenty). To spolu s rozrážacími spôsobí prevzdušenie prepádového lúča, následne nižšie hydraulické zaťaženie spoločného vývaru (priepadu a výpustu) a pôsobí elegantne aj po stránke architektonickej. Podobný efekt, vhodné architektonické zakomponovanie do okolitej krajiny, vyvoláva aj podpriehradová VE. Budova VE nadväzuje na tradície a vysokú úroveň medzivojnovovej funkcionalistickej architektúry na Slovensku. Z kompozičného hľadiska ju tvoria dve vzájomne do seba prenikajúce hranoly, ktoré čistotou svojho exteriérového výrazu, pravidelným rastrom otvorov, hladkým prevedením fasád, vytvárajú harmonický celok s vlastným telesom priehrady. Gravitačná vylahčená priehrada má celkovú výšku 41 m a vytvára akumuláciu nádrže pre účely hydroenergetiky, priemyslu, závlah (na dolnom Váhu) a ochrany pred povodňami. Nezanedbateľný je aj jej vplyv ekologický. Pohotovosť 15 až 20 mil. m³ slúži na minimalizáciu rizík ekologických havárií na Orave a Váhu. Nádrž, jej vodná plocha, podmienila rozvoj turistického ruchu, rekreáciu na vode a pri

Obr. 2 Električenský blok priehrady vo Vlčej Doline

Fig. 2 Power plant block of the dam in Vlčej Dolina



vode, často v kombinácii s lyžiarskymi možnosťami v pohorí neďalekých Roháčov.

V súvislosti s realizáciou VD je potrebné poukázať aj na vzťah tohto inžinierskeho diela a krajiny. Krajinný obraz vo všeobecnosti môžeme chápať aj ako historický dokument vývoja vzťahu človek a príroda. Súčasný krajinný obraz Oravy prešiel premenami, ktoré v sebe nesú odkaz mnohých generácií, ktoré ho svojou činnosťou postupne formovali, kultivovali.

Realizácia takého veľkého inžinierskeho diela, akým Oravská vodná nádrž nesporné je, si vyžiadala aj mnohé vyvolané investície, mnohokrát i negatívneho charakteru, napr. presídlenie obyvateľov zátopovej oblasti, resp. zánik historických štruktúr osídlenia. V tejto súvislosti je možné oceniť prístup k ochrane kultúrneho dedičstva regiónu pri prevádzke VD. Vďaka tomu vznikol v zátope Oravskej nádrže Slanický ostrov, dnes nazývaný aj „Ostrov umenia“. Leží v miestach dnes zatopenej obce Slanica, ktorá zanikla v r.1952. Na jeho vyvýšenine sa nachádza barokový kostol postavený v rokoch 1766 až 1769. V súčasnosti sa v ňom nachádza Múzeum sakrálnej architektúry Hornej Oravy so stálou expozíciou tradičnej slovenskej plastiky a maľby na skle.

PRIEHRAHA NOSICE

Druhou konštrukčne aj ekologicky zaujímavou gravitačnou betónovou priehradou je priehrada energetického VD Nosice, vybudovaná na Váhu, 205 km od jeho ústia do Dunaja. Jej konštrukčné riešenie rozhodujúcou mierou determinovali komplikované inžiniersko-geologické a hydrogeologické pomery a veľká štrkonosnosť Váhu. Inžiniersko-geologické pomery sú flyš, zastúpený slienitými ílovcami, zlepcami a pieskovecami, prestúpený početnými významnejšími poruchami a vývermi minerálnej vody.

Priehrada je rozčlenená na niekoľko častí: normálne bloky (obe: ľavé a pravé krídlo i stredná časť), výpustné zariadenie: priepady (hradené klapkami) a otvory spodných výpustov (na celú šírku blokov hradené segmentami) a priehradová VE. Celková dĺžka priehrady je 471,10 m (34 blokov) a výška 33 m.

Pri zakladaní výpustných zariadení priehrady v údolnej nive bol narazený prameň minerálnej vody agresívnej na betóny, čo ovplyvnilo spôsob úpravy jej základovej škáry. Agresívnemu pôsobeniu

vody na betón zamedzuje čadičová dlažba, uložená do asfaltu. Zaujímavosťou sú riešené tzv. funkčné bloky, kde sú situované korunové priepady, hradené klapkami a otvory spodného výpustu (hradené na celú dĺžku polí segmentami). Toto riešenie si vyžiadala veľká štrkonosnosť Váhu a z toho plynúce riziko zanášania nádrže a následná strata disponibilného objemu. Funkčné bloky sú značne vyľahčené, pripomínajúce tvar profilu švajčiarskej hate Verbois na Rhone. To znamenalo značné zníženie tiaže funkčných blokov a zvýšenie rizika porušenia ich stability voči ušmyknú-

urbanistického obrazu. Výstavba si vyžiadala mnohé vyvolané investície – napr. prekládku dvojkoľajnej železnice Púchov-Pov. Bystrica, štátnej cesty Nimnica-Orlové, či presídlenie obcí Okrut, Nosice a Milochov.

Výskytu výdatného minerálneho prameňa bola prispôsobená aj koncepcia VD. Chemický a balneologický rozbor minerálneho prameňa ukázal, že voda s vysokým obsahom voľného a viazaného CO₂ má liečivé vlastnosti. To viedlo k myšlienke a následnej realizácii vybudovania kúpeľov Nimnica na brehu nádrže, výraznému



Obr. 3 Pohľad na priehradu Orava s podpriehradovou vodnou elektrárnou

Fig. 3 View of the Orava Dam with the downstream water power plant

tiu. Z toho dôvodu bola výrazne zazubená základová škára (zaktivizovanie odporu na veľkej ploche) a zvýšenie stability rozperným klinom. Zvláštnosťou je väčšia kapacita otvorov spodných výpustov ako bezpečnostných prepádov, a to z dôvodov prepúšťania splavenín a tým zamedzenia zanášania.

Náležitá pozornosť bola venovaná už vtedy (aspoň zo strany projektanta) environmentálnym problémom, o čom svedčí zabudované rybie zdvihadlo (z dolnej do hornej vody). Sklon vzdušného líca je strmý-skosený a v prospech tiaže bloku pôsobí spätný zásyp na vzdušnom líci priehrady. Aj pri budovaní VD Nosice došlo k zásahu do pôvodného krajínarsko-

urbanizačnému počínu. Bývalé ubytovne pre robotníkov boli adaptované na liečebné stredisko. Slohovo ťažko identifikovateľná architektúra pôvodných budov liečební však zaostáva za predstavami o modernom architektonickom výraze. Je to škoda, pretože práve ideálne spojenie fenoménu vody, okolitého reliéfu a krásnej prírody dáva predpoklady pre vytvorenie harmonického architektonického diela, ktoré je v symbióze s prírodným prostredím. Iste to bol momentálny nedostatok finančných zdrojov, ktorý limitoval architektonickú úroveň objektov. Zároveň je to možná výzva pre architektonické dotvorenie ďalšími generáciami. Čiastočne sa táto výzva naplnila výstavbou dvoch liečebných pavilónov s balneoterapiou na prelome 80. a 90. rokov, ktoré slohovým výrazom reprezentujú modernistické tendencie.

Voda má v sebe veľa podôb. Môžeme v nej nájsť moment pokojnej hladiny, prúdiacej vody, či vyvierajúcej, tryskajúcej, alebo bublajúcej. Práve vodné dielo Nosice



Obr. 4 Pohľad na priehradu Dolný Jelenec návodná strana

Fig. 4 View of Dolný Jelenec Dam water face

a kúpele Nimnica by mohli za ideálnych podmienok ešte výraznejšie dokumentovať vzťah a spolupôsobenie dvoch fenoménov, akými sú - „voda a architektúra“.

ČLENENÉ PRIEHRADY MOTYČKY A DOLNÝ JELENEC

Členené priehrady Motyčky na Starohorskom potoku a Dolný Jelenec na Jeleneckom potoku (Obr. 4) tvoria prepojenú sústavu vodných diel v dvoch stupňoch. Predstavujú prvú vysokotlakú deriváciu, ktorá využíva akumulovanú vodu vo VE Dolný Jelenec ($H_{\max} = 108,5$ m) a VE Staré Hory ($H_{\max} = 83$ m). Pôvodne plánovaný 3. stupeň nebol realizovaný. Táto sústava vodných diel je zaujímavá najmä z dvoch hľadísk:

- konštrukciu priehrady – obe sú ľahké doskové členené priehrady, typu Ambursen, ktoré boli módne v 20. rokoch minulého storočia (realizácia 1923 až 1925);
- spôsobom využitia vody v elektrárni Dolný Jelenec, ktorá vyúsťuje do rovnomennej vyrovnávacej nádrže.

PRIEHRADA MOTYČKY

Má pôdorys v tvare parabolického oblúka. Návodný líc tvorí železobetónová doska, hrúbky 0,20 až 0,36 m, uložená na pilieri so zamurovaným vzdušným lícom kameným murivom. Priestor medzi oboma lícni je vyplnený zásypom. Priehrada má parametre $H_{\max}/H_0 = 7,5/7$ m a $L = 170$ m.

Objekty sú riešené originálne – prepad tvoria dve železobetónové násosky (jediné na Slovensku, ba možno aj v bývalom Československu) s kapacitou dvakrát

14 $m^3 \cdot s^{-1}$. Dve potrubia spodného výpustu majú celkovú kapacitu 6 $m^3 \cdot s^{-1}$. Spoločný vývar má tiež zaujímavý podkovovitý tvar. Odberný objekt tlakového privádzača k VE Dolný Jelenec je v ľavo-strannom zaviazaní. Privádzač tvorí tlaková štôlna v tvare podkovy, dĺžky 1233 m so sklonom 0,8 %, so železobetónovou obmurovkou. VE Dolný Jelenec má tri turbíny, z toho dve Francisove (z r. 1925), s horizontálnou osou, so spádom 101,7 až 108,5 m, hĺbkou 0,45 až 0,85 $m^3 \cdot s^{-1}$. V r. 1939, resp. 1948, boli doplnené treťou reverzibilnou turbínou. VE Dolný Jelenec je citlivo zakomponovaná do údolia Dolno-Jeleneckého potoka, do ktorého vyúsťuje aj odpad z nej.

PRIEHRADA DOLNÝ JELENEC

Na rozdiel od Motyčiek má priamu os doskovej členenej priehrady. Železobetónová doska je voľne uložená i priebežne votknutá do pilierov. Má konštantnú hrúbku 0,15 m a vzdušný líc nekrytý, čo spôsobilo (vdaka drsným klimatickým vplyvom) značnú koróziu betónu. V 90. rokoch bola realizovaná ich kompletná sanácia armovaným torkretom. Parametre priehrady $H_{\max}/H_0 = 11,65 / 5,8$ m a $L = 74$ m. Na jej pravej strane je vtokový objekt do tlakového privádzača, ktorý má celkovú dĺžku 3105 m. Z toho prevažnú časť tvorí železobetónové potrubie (dĺžky 2437 m) a v piatich úsekoch (o dĺžke 755 m) štôlna, vylámaná v skale. Pozdĺžny sklon privádzača je 1,4 %. Pred VE je predsunutá vyrovnávacia komora. Profil štôlny je podkovitý 1,7/1,5 m a potrubie 1,3 m.

VE Staré Hory pracuje v rozmedzí spádov 79 až 83 m pri hĺbkosti dvoch Francisových turbín 2 x 0,6 $m^3 \cdot s^{-1}$. Inštalovaný výkon je 420 až 480 W. Odpad od VE v dĺžke 185 m je zaústený do Starohorského potoka. Toto, dnes už historické hydroenergetické dielo, moderné z časového hľadiska (na svoju dobu), je dosiaľ funkčné a organicky, bez rušivých vplyvov, začlenené do krajiny.

Betónové priehrady sú v podmienkach slovenských priehradných lokalít početne málo zastúpené, najmä zásluhou komplikovaných geologických pomerov. V mnohých prípadoch sú však originálne konštrukčne riešené, citlivo architektonicky zakomponované do krajiny a spĺňajú aj požiadavky environmentálne.

LITERATÚRA

- [1] Abaffy D., Lukáč M., Líška M., Matulík J.: Vodné diela na Slovensku, Príroda, Bratislava 1979
- [2] Abaffy D., Lukáč M.: Priehrady a nádrže na Slovensku, Dams and Reservoirs in Slovakia, ALFA, Bratislava 1991
- [3] Abaffy D., Lukáč M., Líška M.: Dams in Slovakia, Bratislava 1995
- [4] Holbík J.: Vodné dielo Nosice, SVTL, Bratislava 1965
- [5] Jambor A., Lukáč M., Peter P.: 30 rokov prevádzky VD Orava
- [6] Kol.: Súpis pamiatok na Slovensku, Zväzok II. a III. Obzor, Bratislava 1968
- [7] Patera A., Satrapa L.: Betónové prehrady u nás a ve svete, Betón, roč. 2, 1991/1, s. 21-26
- [8] Putrová E.: Voda znamená život, ASB, roč. IV., č. 3/99, s. 13-14

Prof. Ing. Michal Lukáč, Ph.D.
Katedra geotechniky, Stavebná fakulta STU
Radlinského 11, 813 68 Bratislava
tel.: +421 2 5927 4293
Ing. arch. Jana Pohaničová
Katedra dejín architektúry a umenia, FA STU
Nám. Slobody 19, 812 45 Bratislava
tel.: +421 2 5727 6358
e-mail: pohanicova@fastu.fa.stuba.sk